

1. はじめに

斜面崩壊発生予測手法として、例えば斉藤式や福岡式などの崩壊直前の3次クリープの変形を表現する経験式のような、地表面変位を用いた方法が知られ、実務にも用いられている。しかし例えば降雨による斜面崩壊を考えると、降雨強度の変化など、斜面内の応力変化をもたらす要因もあり、降雨浸透に伴う斜面のせん断変形を力学的に表すモデルが必要である。本稿ではそのための第1歩として、模型斜面に人工降雨を与え、降雨浸透に伴う斜面のせん断変形の進行を計測する。

2. 実験装置と方法

実験のために図-1に示すような模型斜面を作成した。筑波山まさ土 ($D_{50}=1.3\text{mm}$, $U_c=22.23$, $\rho_s=2.675\text{g/cm}^3$)を用いて水平方向に20cmずつ敷きならし、人力で踏み固めて模型斜面を作成した。斜面方向に50~80cmごとに土のサンプリングを行い、湿潤単位体積重量が約 $16.1\sim 16.4\text{kN/m}^3$ 、間隙比が $1.46\sim 1.53$ とほぼ一定であることを確認した。斜面の降雨浸透や圧縮・せん断変形挙動は図-1に示すような計測装置で計測した。このうち本報告では斜面下から300cmの位置の土壌水分計による深さ10cm毎の体積含水率と、斜面下から350cmの位置のテンシオメータによる深さ10cm毎のサクシジョンの計測値を降雨浸透の検討のために使用した。また斜面のせん断変形については斜面下から250cmの位置に設置した内部歪計による深さ9.2cm毎の傾斜計の傾斜変化のデータを使用した。なお内部歪計は長さ9.2cmのプロープ内に傾斜計を設置したものを、ボルト・ナットで深さ方向に6個連結したものである。各プロープの傾斜変化を θ とすると $\tan\theta$ がせん断ひずみに等しいと考えた。

実験では事前に30mm/hの降雨を180分、100分と2回与えて斜面を締固め、その後15mm/hの降雨を180分与えた。この3回目の降雨中の斜面内の挙動を対象とする。

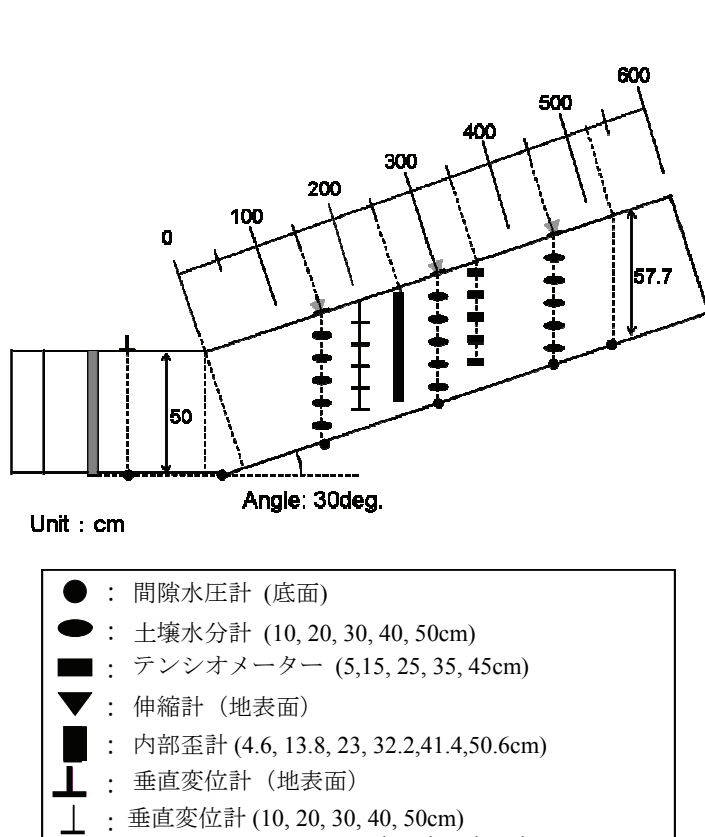


図-1 実験装置

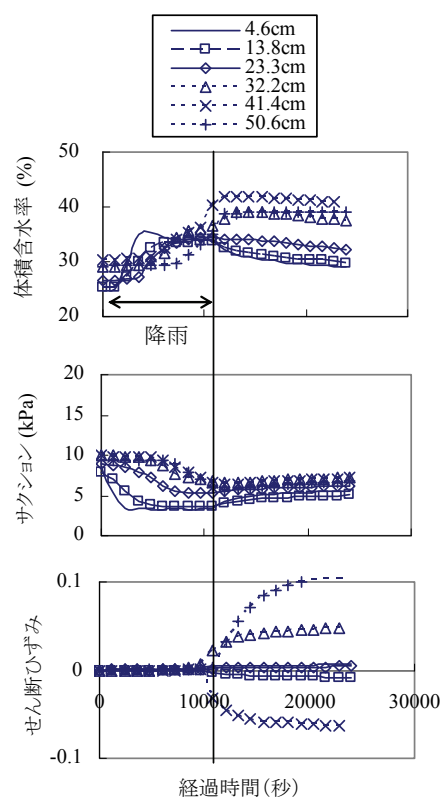


図-2 体積含水率、サクシジョン、せん断ひずみの経時変化

3. 実験結果

図-2 に降雨開始後 24,000 秒までの斜面中の各深さの体積含水率、サクシオン、せん断ひずみの経時変化を示す。ここで体積含水率とサクシオンの深さは、計測値の補間により内部歪計によるせん断ひずみ計測深の値を求めた。経時変化を見ると、体積含水率は降雨開始後、浅い箇所から先に増加を開始し、降雨終了時まで増加する。降雨終了後は 23.3cm より浅い箇所では体積含水率は減少するが、それより深い箇所ではほぼ一定か、むしろ増加傾向である。サクシオンも同様に、降雨開始後浅い箇所から順に減少し、降雨終了後は漸増する。せん断ひずみは体積含水率やサクシオンの挙動とは異なり、降雨中はほとんど増加せず、降雨終了間際から増加を開始する。つまりせん断変形は斜面中の降雨浸透に遅れて進行する。せん断ひずみが負の場合もひずみの絶対値が大きくなるとせん断ひずみが大きくなると判断した。ただし以降の検討では、せん断ひずみが負のデータは正常な計測値ではないとして、使用しなかった。

4. 降雨中の体積含水率増加によるせん断変形の進行

図-3 にせん断ひずみを計測する各深さでの、吸水過程における体積含水率増分とせん断ひずみの関係を示す。ここで吸水過程とは、各深さ毎に降雨開始から体積含水率の最大値までの期間を指す。体積含水率増分は降雨開始時から時々刻々の時刻までの増分とし、せん断ひずみも降雨開始時を基準とする。23.3cm より浅い箇所では体積含水率が増加してもせん断ひずみの増加は小さい。特に深さ 13.8cm ではほとんどせん断ひずみの増加は見られない。それに対して深さ 32.2cm と 50.6cm では、降雨開始直後は体積含水率増加に伴うせん断ひずみの増加は小さいものの、体積含水率増分が 4%を超えると、体積含水率の増加に伴うせん断ひずみの増加も大きくなる。体積含水率が大きくなるほど、体積含水率増加に伴うせん断ひずみ増加は大きくなる。この関係はサクシオン変化量とせん断ひずみの関係を見ても同様である。

次に図-4 にせん断ひずみを計測する各深さでの、吸水過程における 120 秒毎の体積含水率増分 $\delta\theta_{ab}$ とせん断ひずみ増分 $\delta\gamma_{ab}$ の関係を示す。これを見ると 23.3cm より浅い箇所では体積含水率が増加してもせん断ひずみは増加しない。しかしそれより深い箇所では、120 秒毎の体積含水率増分が小さいうちはやはりせん断ひずみ増分も小さいが、体積含水率増分が大きくなると体積含水率の増加と共にせん断ひずみが増加することがわかる。この事実は深い箇所ではせん断変形の体積含水率増加への依存が大きいことを示唆する。それに対して浅い箇所でのせん断変形は、体積含水率が増加してもせん断が進行しない。

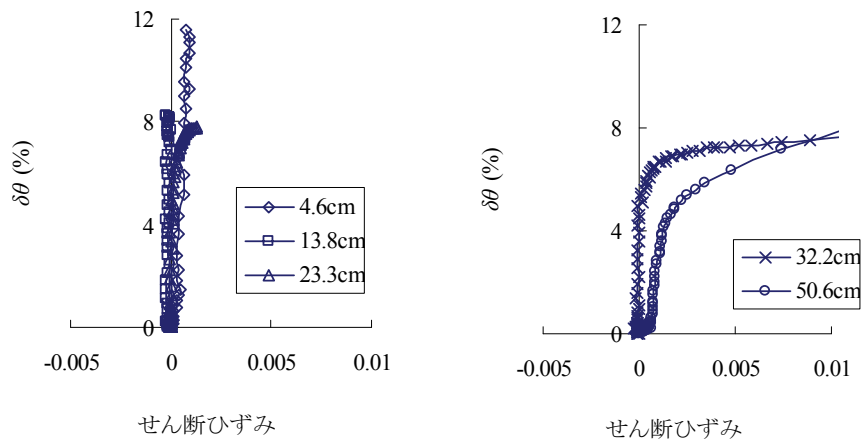


図-3 吸水過程における体積含水率増分とせん断ひずみの関係

5. まとめ

以上の検討より、勾配 30° のまき土よりなる砂質斜面では、深い箇所では、降雨浸透に伴う体積含水率増加およびサクシオン減少によるせん断変形の進行というメカニズムを想定できるが、浅い箇所では他の変形メカニズムを考える必要がある。

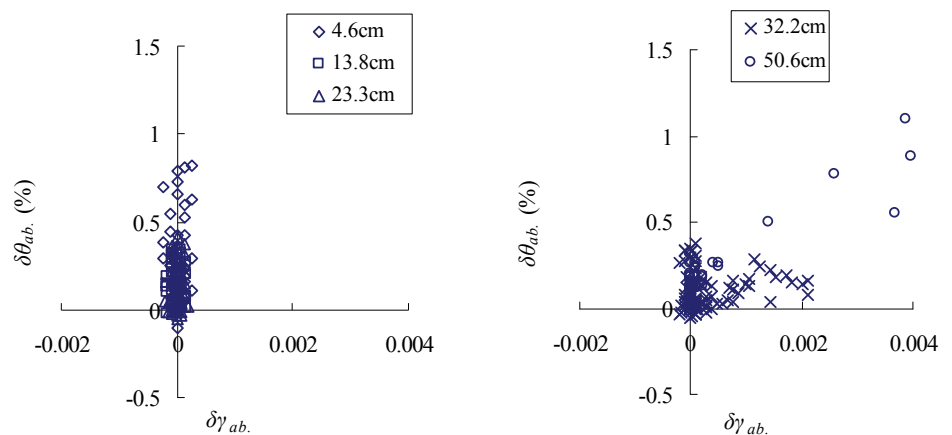


図-4 吸水過程における 120 秒毎の体積含水率増分—せん断ひずみ増分